

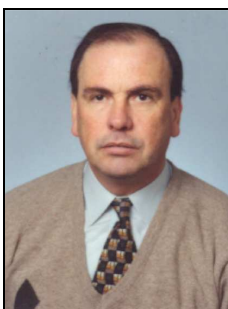
# IDENTIFICAÇÃO DINÂMICA E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE UM QUARTEIRÃO LOCALIZADO NA CIDADE DA HORTA – ILHA DO FAIAL



Nuno Neves

Eng. Civil - Mestrando Professor Associado

FEUP  
Porto



Aníbal Costa

FEUP  
Porto



António Arêde

Professor Auxiliar

FEUP  
Porto

## SUMÁRIO

O presente artigo aborda uma parte de um trabalho em curso relativo à análise do comportamento sísmico de todo um quarteirão da cidade da Horta, na ilha do Faial, Açores, afectado pelo sismo de 9 de Julho de 1998. Apresenta-se o resultado de uma análise numérica preliminar para aferir a sensibilidade ao tipo de modelação e às propriedades dos materiais, realizada ao nível local de uma casa e também ao nível global do quarteirão. Após uma identificação prévia das zonas mais vulneráveis do quarteirão, refere-se a realização de uma campanha experimental de medições de vibração ambiental *in situ*, cujos resultados permitiram obter frequências e modos de vibração de alguns edifícios do quarteirão e calibrar as modelações numéricas que aqui se apresentam.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dado edifício inserido num quarteirão de um aglomerado urbano, apresenta particularidades de comportamento estrutural diferentes das de um edifício isolado. Este facto assume especial importância quando se pretende efectuar acções de reparação e/ou reforço uma vez que qualquer intervenção num dado edifício do quarteirão pode afectar também o comportamento das construções adjacentes bem assim como o do conjunto estrutural.

Neste contexto, o principal objectivo do presente artigo enquadra-se num trabalho mais vasto de análise da resposta sísmica, precedida da identificação dinâmica experimental, de um quarteirão de edifícios localizado na cidade da Horta na ilha do Faial (Açores), atingida pelo sismo de 9 de Julho de 1998. O quarteirão (Fig. 1) situa-se na freguesia da Matriz, junto à Câmara Municipal da Horta, tendo a sul o edifício dos Correios, a norte a Travessa da Misericórdia, a este a Rua Serpa Pinto (Fig. 1-c) e a oeste a Rua Comendador Ernesto Rebelo (Fig. 1-a). Apresenta dois tipos diferentes de edifícios com comportamentos dinâmicos distintos, nomeadamente construções tradicionais de alvenaria na generalidade do quarteirão e uma estrutura porticada de betão armado no edifício dos correios.

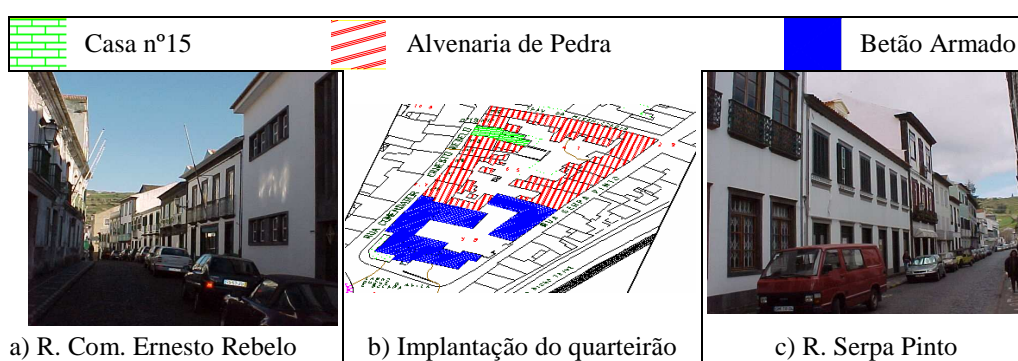


Fig. 1 - Quarteirão – Implantação e ruas envolventes a oeste (a) e a este (c)

O quarteirão tem um conjunto de características potenciadoras de problemas de comportamento estrutural que devem ser analisadas com cuidado e detalhe na perspectiva da tomada de medidas de reforço conducentes à redução dos danos observados na sequência do sismo. De facto, a Fig. 1-b permite constatar a existência de uma estrutura mais rígida e resistente numa das extremidades do quarteirão, concentrando aí uma significativa rigidez que por certo condiciona o comportamento dinâmico do conjunto sob a acção dos sismos. Observa-se também a existência de cantos, gavetos e de corpos mais estreitos e compridos nas traseiras do edifício, introduzindo descontinuidades estruturais em planta responsáveis por excentricidades locais e globais no quarteirão, e que constituem zonas extremamente vulneráveis, como tem sido evidenciado na sequência de diversos sismos, Açores (1980), Northridge (1994). Por sua vez, as Fig.s 1-a e 1-b realçam alguns dos desníveis existentes no quarteirão, devidos à topografia do terreno ou à cércea diferente dos prédios contíguos ou ainda à diferença de pés direitos, que materializam descontinuidades verticais importantes originando também uma acrescida vulnerabilidade sísmica das estruturas envolvidas.

A fim de simular e analisar a resposta do quarteirão à acção sísmica traduzida por acelerogramas registados “in-situ” aquando da ocorrência do sismo, no âmbito deste trabalho procedeu-se à modelação estrutural de todo o quarteirão com recurso ao programa geral de análise estrutural CASTEM 2000, [1], baseado no método dos elementos finitos. Esta modelação foi no entanto precedida de modelações parcelares de algumas casas que foram estudadas em mais profundidade, a fim de parametrizar adequadamente as características da

modelação a adoptar em todo o quarteirão, quer em termos de discretização estrutural quer no que se refere às propriedades dos materiais constituintes.

A referida parametrização constitui uma análise preliminar e foi apoiada numa inspecção inicial realizada *in-situ*, durante a qual foi efectuado o levantamento de vários edifícios do quarteirão e também algumas medições de frequências de vibração. Após esse estudo preliminar, que permitiu caracterizar o tipo de comportamento global do quarteirão e identificar os locais mais vulneráveis sob acção de um sismo, foi então realizada uma extensa campanha experimental de identificação dinâmica em vários edifícios devidamente seleccionados a fim de possibilitar a calibração das modelações.

## 2 ANÁLISE DINÂMICA PRELIMINAR

Na sequência das primeiras inspecções e levantamentos realizados no quarteirão, foi efectuada uma análise numérica preliminar do comportamento dinâmico global do quarteirão e local de algumas das suas casas, destacando-se aqui as seguintes modelações que assumiram maior profundidade de estudo:

- modelação da casa nº15 na Rua Comendador Ernesto Rebelo;
- modelação global do quarteirão.

A prospecção realizada permitiu identificar e caracterizar bem a geometria e os elementos estruturais da casa nº 15 na Rua Comendador Ernesto Rebelo, razão pela qual se optou por fazer um estudo mais detalhado da mesma. A estrutura dessa casa foi discretizada considerando pormenorizadamente todos os elementos constituintes, nomeadamente paredes, pavimentos e telhados. Procurou-se calibrar o melhor possível o modelo, em termos dos materiais e dos próprios critérios de modelação, por forma a obter resultados coerentes com os registados *in-situ* até esta fase (que consistiam essencialmente nas frequências de vibração).

Posteriormente, e com base na análise cuidadosa dos resultados para a casa nº 15 e nos critérios considerados razoáveis para este tipo de estudo, procedeu-se à modelação global do quarteirão a fim de aferir o seu comportamento dinâmico e o tipo de resposta global à acção de um sismo.

Atendendo a que se trata de construções que foram afectadas por um sismo concreto, assume particular interesse a realização da análise sísmica com base naquela acção específica, uma vez que permite fazer um confronto dos resultados numéricos com os efeitos reais daquele sismo sobre os edifícios do quarteirão e, assim, conseguir uma forma adicional de validação das condições adoptadas na modelação. Neste contexto, a solicitação sísmica considerada caracteriza-se pelos acelerogramas registados a 9 de Julho de 1998 ao nível das fundações do Observatório Príncipe de Mónaco, situado na cidade da Horta, ilha do Faial, com distância epicentral da ordem dos 10 a 15 km. Para as três componentes do referido registo sísmico, que apresenta o valor máximo próximo de  $400 \text{ cm/s}^2$  numa das direcções horizontais, foram obtidos os correspondentes espectros de potência ilustrados na Fig. 2. De acordo com a orientação do quarteirão, a direcção XX é considerada coincidente com o eixo longitudinal.

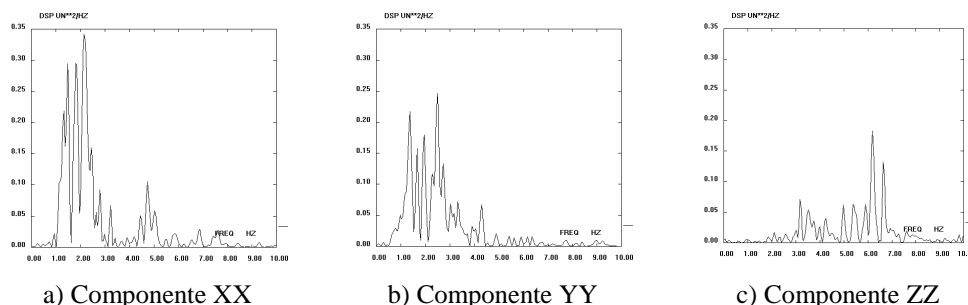


Fig. 2 - Densidades espectrais de potência das componentes do sismo de 9 de Julho de 1998.

A análise dos espectros de potência permite verificar que as componentes horizontais (XX e YY) do sismo são mais ricas na gama de frequências entre cerca de 1 Hz e 2.5 Hz enquanto que a componente vertical (ZZ) é mais intensa entre 6 Hz e 7 Hz. Em face do conteúdo espectral para as frequências relativamente elevadas (superiores a 2Hz), este sismo pode ser associado à acção regulamentar tipo 1 que se caracteriza por magnitude moderada e curta distância focal.

No âmbito das análises estruturais à acção sísmica a resposta foi obtida em regime linear elástico por integração no domínio do tempo através do método de Newmark, considerando amortecimento estrutural viscoso segundo a formulação de Rayleigh (proporcional às matrizes de massa e de rigidez) e calibrado de modo a garantir que o coeficiente de amortecimento não ultrapasse 5% na gama de frequências de interesse para as componentes horizontais e verticais.

## 2.1 Estudo local da casa nº 15 na Rua Comendador Ernesto Rebelo

### 2.1.1 Descrição da estrutura

A casa nº 15 fica situada próximo de um dos cantos do quarteirão (Fig. 1-b) e consiste numa moradia do tipo tradicional em banda (Fig. 3-a), de duas frentes, com paredes meeiras a separá-la das casas vizinhas e constituída por dois pisos frontais e um piso recuado (Fig. 3).

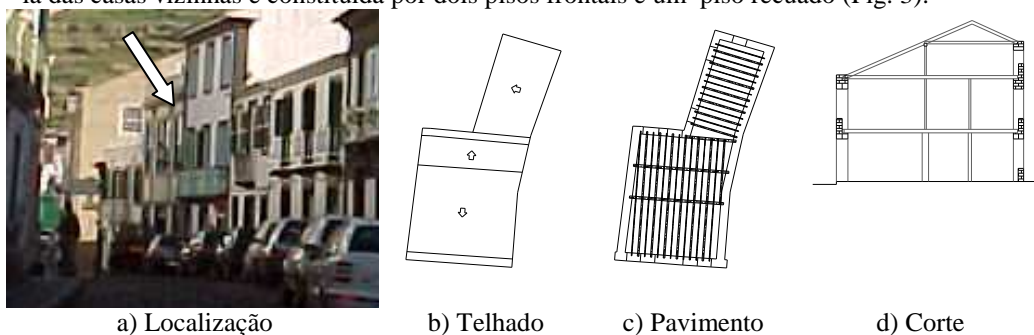


Fig. 3 - Rua Comendador Ernesto Rebelo – casa nº 15

A estrutura é constituída por paredes de alvenaria de pedra e os pavimentos são compostos por soalho assente em barrotes e vigas de madeira que apoiam nas paredes. A alvenaria de pedra que compõe as paredes nesta casa apresenta uma grande homogeneidade e uma boa qualidade. A madeira dos elementos dos pisos é de criptoméria (existente na região) e tem como característica principal um baixo peso volúmico. De acordo com os ensaios realizados, [2], e com os resultados das frequências de vibração obtidas na primeira prospecção foi possível numa primeira fase estimar as principais propriedades físicas e mecânicas dos materiais que se apresentam na Quadro 1.

Quadro 1 – Casa nº 15 – Propriedades dos Materiais

Elemento	Material	$\rho$ (ton/m <sup>3</sup> )	$E$ (GPa)
Paredes	Alvenaria de pedra	1.8	1.1
Barrotes	Madeira	0.27	3.8

#### 2.1.2 Análise numérica modal

A estrutura da casa nº15 foi discretizada através do já referido programa, tendo-se utilizado elementos de casca de três nós para modelar as paredes e elementos de barra de dois nós para os barrotes e vigas de madeira. Foram modelados todos os elementos estruturais que poderiam condicionar o comportamento estrutural da estrutura. Dado que um dos objectivos do trabalho consiste em avaliar convenientemente a influência do efeito de grupo no comportamento sísmico das estruturas existentes, foram então consideradas duas hipóteses de modelação:

- 📦 modelação A – a estrutura da casa foi tratada como um elemento isolado, não tendo em linha de conta o efeito das edificações vizinhas (Fig. 4);
- 📦 modelação B – foram considerados todos os elementos da casa em estudo incluindo também elementos estruturais das habitações vizinhas (Fig. 5).

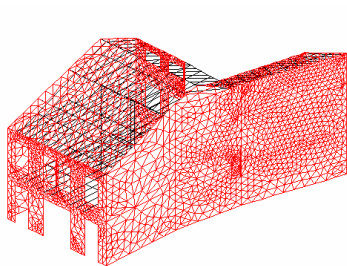


Fig. 4 - Modelação A

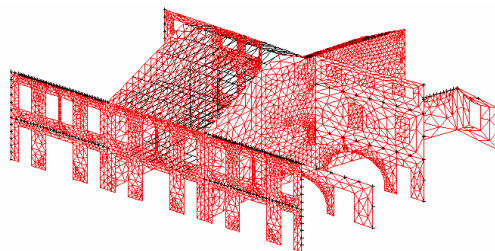


Fig. 5 - Modelação B

Os dois modelos da casa são semelhantes no que se refere aos elementos que a constituem, com a diferença de que, no caso B foi considerada, de uma forma simplificada, a existência de habitações contíguas para as quais foram modelados os elementos verticais que pareceram relevantes para influenciar a resposta da estrutura. Esta primeira análise reveste-se de um carácter qualitativo já que são admitidas algumas simplificações, quer ao nível de apoios, quer

ao nível das cargas dos elementos vizinhos. Foram calculados os modos de vibração para cada uma das modelações alguns dos quais se encontram ilustrados na Fig. 6.

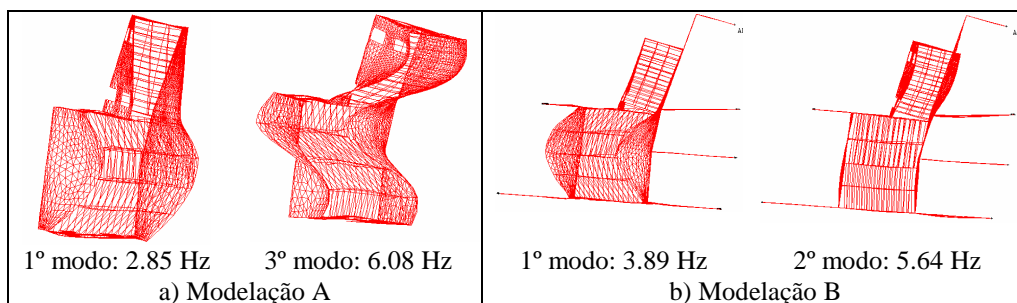


Fig. 6 - Modos de vibração da casa nº 15. Avaliação da influência do efeito de grupo

Importa realçar que apenas é possível tirar conclusões do efeito de grupo na direcção longitudinal do quarteirão na qual os elementos considerados têm uma influência muito grande. Na direcção transversal, o efeito não pode ser (neste caso) adequadamente avaliado uma vez que, por simplificação, as paredes do grupo foram travadas na direcção perpendicular ao seu desenvolvimento.

A análise dos resultados modais permite avaliar a importância do efeito de grupo na resposta das edificações à acção sísmica. Comparando os primeiros modos para as modelações A e B (Fig. 6) pode-se observar que, conforme seria de esperar, a introdução das paredes das casas adjacentes se traduz num aumento do valor das frequências próprias da estrutura na direcção longitudinal ao quarteirão. Em ambas as modelações as frequências de vibração para a direcção transversal correspondem a modos superiores aos indicados na Fig. 6.

Além da análise da influência do efeito de grupo no comportamento sísmico, houve necessidade de calibrar convenientemente a modelação dos pavimentos que, pela sua constituição suscitava algumas dúvidas sobre a estratégia mais adequada. Em ambos os casos (A e B) os pavimentos foram modelados com as suas vigas principais e barrotes. Para a simulação do soalho apenas foram consideradas barras auxiliares de reduzida inércia a ligar os vários barrotes que constituíam os pisos para assim se homogeneizar as deformações dos pavimentos. No entanto, esta homogeneização não garante ainda o funcionamento do piso como diafragma rígido no seu plano. A adequada interpretação do efeito do soalho na estrutura e a validação do seu modelo numérico levou a considerar uma outra modelação (C), que teve por base a modelação B, mas que incluiu elementos de laje de muito reduzida espessura para simular o soalho; esses elementos apoiam nos barrotes e nas vigas principais mas não são ligados às paredes resistentes de pedra tal como se verifica na realidade ilustrada na Fig. 7.

No Quadro 2 apresentam-se as características dos principais modos de vibração globais das modelações B e C, nomeadamente o valor das suas frequências, direcção fundamental e percentagem da massa global efectiva mobilizada a cada modo. Este último valor permite avaliar, para cada direcção, a importância de cada modo na resposta sísmica global da estrutura

já que fornece uma medida das forças de inércia que potencialmente se mobilizam em caso de sismo.

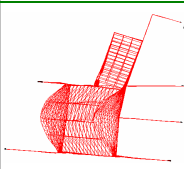
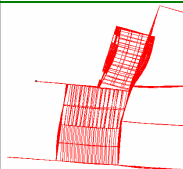
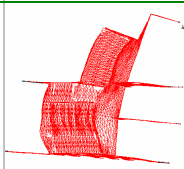



Fig. 7 – Pormenor do apoio do pavimento

Entre os modos de vibração indicados existem modos locais devidos a deformações dos pavimentos que, pela sua massa e rigidez, apresentam frequências semelhantes entre si e intercaladas com os valores representados. Estes modos podem ter um papel importante local ao nível do elemento, mas não constituem factor condicionante para a resposta global.

A modelação C evidencia (Quadro 2) que a inclusão dos elementos de casca confere apreciável rigidez aos pisos, conforme se infere da diferença dos valores das frequências dos primeiros modos das modelações B e C.

Quadro 2 – Resultados modais da casa nº 15. Avaliação da influência da rigidez do pavimento

Modos globais	Modelação B		Modelação C	
	1	2	1	2
Configuração				
Frequência (Hz)	3.89	5.64	5.17	9.93
% massa efectiva - dir.	31 - xx	17 - xx	62 - xx	40 - yy

Enquanto no primeiro caso (B) as paredes meeiras apresentam flexão em torno de um eixo vertical, no segundo (C) este fenómeno não é tão visível pois a casca, funcionando como um diafragma rígido, restringe a deformação no seu próprio plano, aumentando assim a rigidez da estrutura e as suas frequências.

Os valores das frequências de vibração, resultantes da campanha preliminar de medições experimentais *in-situ*, aproximam-se dos valores resultantes da modelação B. No entanto, dado existirem duas variáveis principais que condicionam o comportamento dinâmico (módulo de elasticidade das paredes, admitido com 1.1GPa, e a rigidez do soalho) não foi possível fazer uma calibração conclusiva apenas com base no valor da frequência de vibração. Só com uma posterior identificação dinâmica mais completa, através qual foram também obtidas as principais configurações modais, se tornou possível calibrar o modelo numérico.

É no entanto razoável desde já realçar a importância do comportamento do soalho constituinte do pavimento na estrutura (Fig. 7). O efeito de um diafragma rígido no seu plano é fortemente dependente das ligações nele existentes, tanto associadas às vigas em que apoia o soalho como

aos elementos que o compõem, mas a sua quantificação é manifestamente um aspecto ainda em aberto e que requer estudos mais aprofundados

Foi ainda considerada uma modelação sem pavimentos, tendo-se obtido modos locais de paredes individuais que resultam numa flexibilização da estrutura. Este caso traduz o efeito nefasto da inexistência de travamento das paredes, muito comum em paredes de topo que, não sendo travadas pelos elementos horizontais, acabam por ser as primeiras a sofrer danos devidos à ocorrência de sismos.

## 2.2 Estudo Global do Quarteirão

Implantado numa área de cerca de  $8400\text{m}^2$ , o quarteirão (Fig. 8) é composto por dois tipos de edificações: um, tradicional, com casas do tipo de habitação com dois ou três pisos e outro correspondente a um edifício em betão armado. A rua Serpa Pinto está a uma cota inferior da rua Comendador Ernesto Rebelo, facto este que foi considerado na modelação.

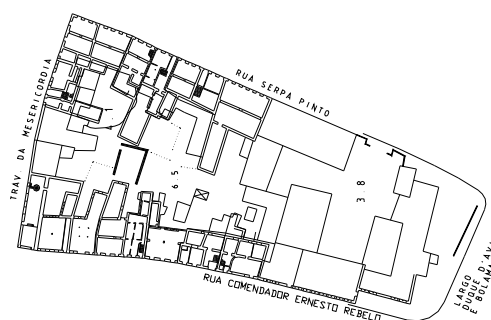


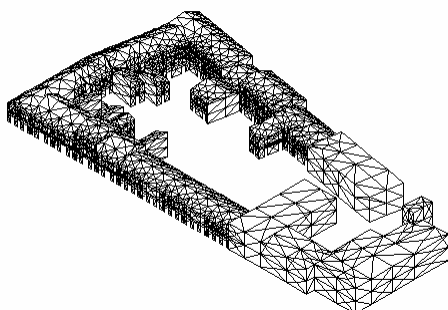
Fig. 8 – Implantação do quarteirão

Após a calibração das propriedades mecânicas dos materiais e dos critérios de modelação de acordo com o estudo individual da casa nº 15, procedeu-se ao estudo numérico do quarteirão com o qual se avaliou o seu comportamento global tendo em conta a influência da existência do edifício dos correios num dos seus extremos. Este edifício, devido à sua localização e grande rigidez, pode de facto condicionar o tipo de comportamento conjunto, afastando o centro de rigidez do centro de massa e gerando assim importantes excentricidades que agravam o efeito do sismo nas construções de alvenaria. Um outro aspecto que merece particular atenção é o das características da interface entre as casas e o edifício de betão. Ao contrário do que acontece nas casas de alvenaria onde existem paredes meeiras, neste caso encontra-se uma junta de dilatação entre as duas estruturas o que, por si só, é um factor importante para a caracterização da resposta.

Foi desenvolvido um modelo global do quarteirão (Fig. 9) com todos os edifícios que o compõem. Dada a dimensão do modelo, optou-se por refinar a malha apenas nas estruturas em alvenaria de pedra, adoptando uma malha menos discretizada para o edifício de betão armado. Recorreu-se ao programa já referido e todos os elementos foram simulados com elementos de casca, inclusivamente os pavimentos de madeira uma vez que a simulação das vigas principais e dos barrotes se tornava incomportável face à dimensão do quarteirão. Os materiais foram considerados com as propriedades mecânicas aferidas para a casa nº15.

Com base no cálculo dos modos de vibração foi possível compreender os aspectos essenciais comportamento dinâmico global do quarteirão, pelo que os resultados aqui apresentados (Fig. 10) apenas incluem as suas configurações modais.





Dos resultados obtidos (ver Fig. 10) evidencia-se que os cantos (modos 1, 2 e 3), as irregularidades em planta (modo 5) e as irregularidades em altura (modo 10) constituem os locais mais vulneráveis à acção dos sismos.

Fig. 9 – Modelação global do quarteirão

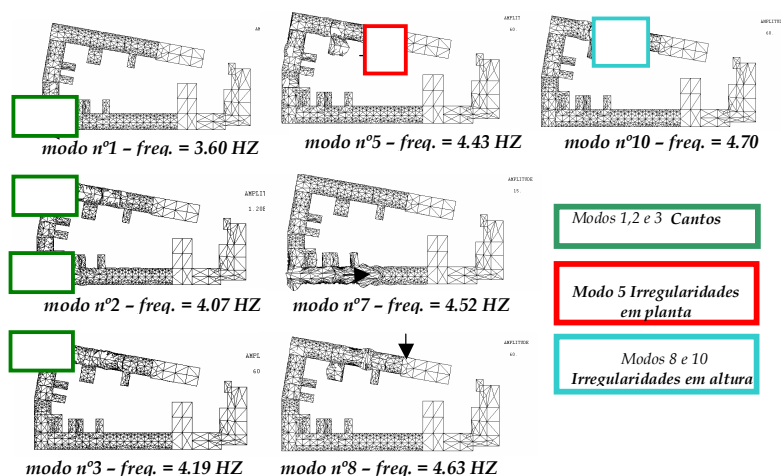


Fig. 10 – Modos de vibração do quarteirão

### 3 IDENTIFICAÇÃO DINÂMICA E CALIBRAÇÃO ESTRUTURAL

Na sequência dos resultados apresentados e comentados na secção anterior, efectuou-se uma campanha de ensaios dinâmicos no quarteirão em locais que se mostraram mais vulneráveis na análise numérica prévia e onde foi possível aceder. Assim, foram submetidos a medições de vibração ambiental as estruturas do edifício dos correios, da casa nº15 (já anteriormente modelada e analisada) e de duas casas na rua Serpa Pinto, a casa nº 16 e casa nº 24, todas ilustradas na Fig. 11. No entanto, no contexto deste artigo, apenas são referidos os resultados obtidos para as casas nº15 e nº16.

No decurso deste estudo a casa nº15 sofreu alguns trabalhos de reabilitação, essencialmente no que diz respeito aos pavimentos. Apesar de manter a estrutura principal (as paredes), o seu comportamento global foi alterado, tendo por isso sido necessário efectuar algumas correcções



a) Casa nº 15

b) Edif. dos correios

c) Casas nº 16 e 24

a) Casa nº 24

Fig. 11 – Edifícios sujeitos a medições de vibração ambiental

do modelo numérico, cuja malha se ilustra na Fig. 12, para ter em conta as alterações observadas. Por sua vez, a casa nº16 representa um caso típico que evidencia o problema das heterogeneidades em altura, tendo sido necessário efectuar também o seu modelo numérico, cuja discretização se apresenta na Fig. 13. Em ambos os modelos foram consideradas as edificações vizinhas por forma a ter em conta o efeito de grupo; as propriedades mecânicas dos elementos estruturais foram aferidas de acordo com os resultados dos ensaios dinâmicos.

Os ensaios de medição de vibração ambiental foram realizados com recurso a cinco macro-sismógrafos GEOSYG, modelos GSR-12 e GSR-16, respectivamente, com 12 e 16 bits de resolução. Possuindo acelerómetros em três direcções (duas horizontais e uma vertical) e uma certa capacidade de armazenamento dos dados adquiridos, estes aparelhos permitem obter os registos de acelerações nessa direcções, que são depois transferidos para um computador onde também pode ser realizada uma primeira análise dos sinais recolhidos. Em cada casa os registos foram efectuados em séries de estações de medição, cada uma composta por três sismógrafos móveis e dois de referência, algumas das quais são apresentadas na Fig. 14 e na Fig. 15, para as casas nº 15 e nº 16, com a localização dos sismógrafos nessas estações.

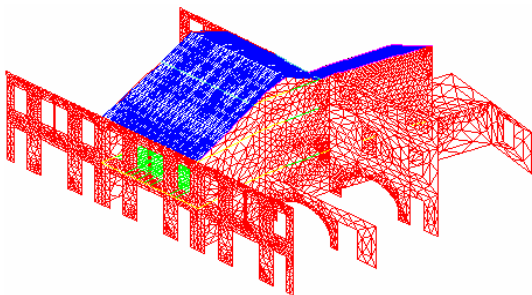


Fig. 12 – Casa nº 15. Novo modelo numérico.

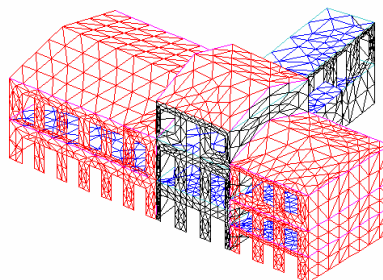


Fig. 13 – Casa nº 16: modelo numérico.

A partir dos registos de acelerações de cada estação foram calculadas as correspondentes densidades espectrais de potência, com recurso a procedimentos baseados na transformada rápida de Fourier (FFT) e que fornecem uma estimativa das funções de transferência para os graus de liberdade instrumentados (dois horizontais e um vertical por cada macro-sismógrafo).

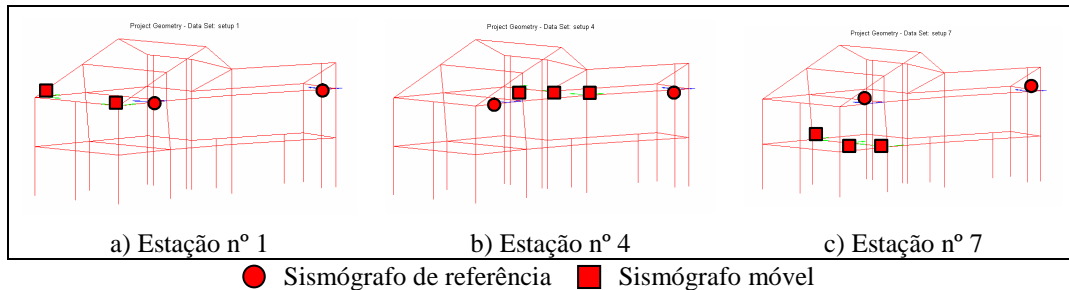


Fig. 14 – Casa nº 15. Algumas estações de medição de vibração ambiental

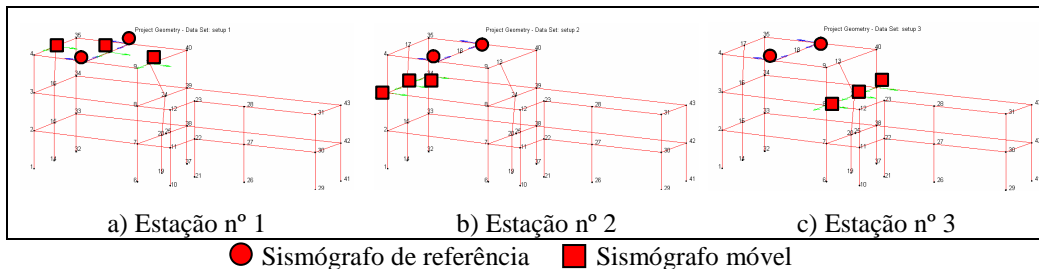


Fig. 15 – Casa nº 16. Algumas estações de medição de vibração ambiental

Esses procedimentos estão disponíveis no programa de análise CLOSEVIEW (associado aos macro-sismógrafos GEOSYG) e foram utilizados para o processamento dos registos que consistiu na seguinte sequência de operações, [3],

- Aplicação de filtros de Hanning a janelas temporais dos registos de forma de contrariar o efeito de Leakage, [4];
- Filtragem digital dos registos com um filtro passa-baixo regulado para 1/8 da frequência de amostragem de modo a contrariar o efeito de Aliasing e a eliminar as componentes de alta frequência;
- Filtragem digital dos registos com filtro passa-alto regulado para 1 Hz;
- Correção “baseline” para anulamento do valor residual médio do registo;

Numa fase subsequente foi efectuada a identificação modal com base na técnica da decomposição no domínio da frequência (FDD) implementada no programa ARTEMIS [5]. Esta técnica, [6] e [7], consiste, numa primeira fase, no cálculo dos valores próprios das matrizes das densidades espectrais de potência da resposta obtidas através dos auto-espectros e espectros cruzados de cada ensaio. Numa segunda fase são seleccionados os picos dos espectros desses valores próprios que permitem obter as frequências naturais do sistema, conforme se exemplifica nas Fig.s 16 e 17 que ilustram a aplicação do método para duas estações de medição.

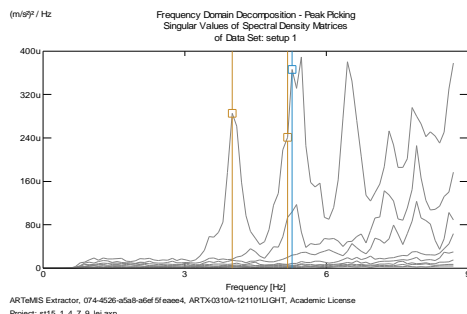


Fig. 16 – Casa nº 15; FDD - estação 1

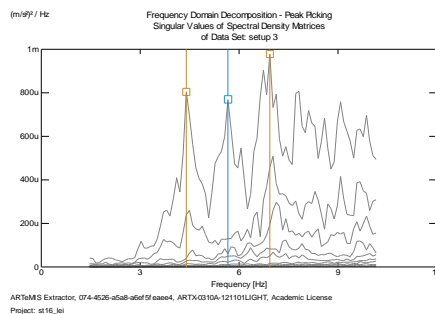


Fig. 17 – Casa nº 16; FDD - estação 4

Um dos resultados importantes a analisar é a coerência entre sinais de sismógrafos distintos para cada estação de medida. Através deste parâmetro adimensional é possível observar, para cada estação e em função da frequência, qual a evolução do grau de linearidade e a influência do ruído na relação entre sinais dos sismógrafos, permitindo detectar modos de vibração para frequências onde a coerência apresenta valores elevados (superiores a cerca de 0.7)

Após uma análise cuidadosa dos resultados obtidos foi possível aferir, para ambas as casas, os dois primeiros modos de vibração a partir dos quais foram calibrados os modelos numéricos. Esta calibração foi conseguida à custa do ajuste dos módulos de elasticidade das paredes de alvenaria de pedra, tendo-se obtido boa concordância de resultados numéricos e experimentais para aqueles modos de vibração conforme se evidencia nas Fig.s 18 e 19 para a casa nº 15 e nas Fig.s 20 e 21 para a casa nº 16. Os valores então considerados para aqueles módulos de elasticidade estão descritos no Quadro 3.

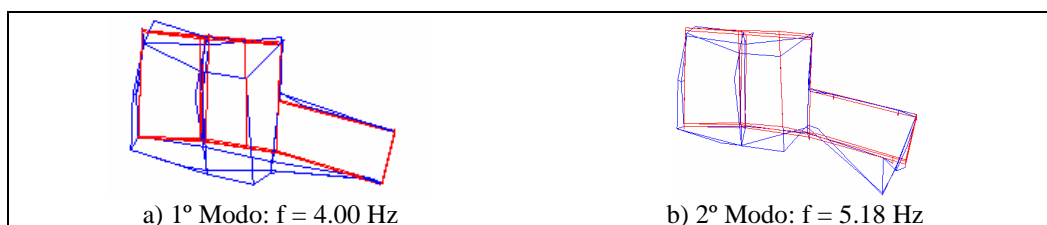


Fig. 18 – Casa nº 15. Análise Experimental – Resultados

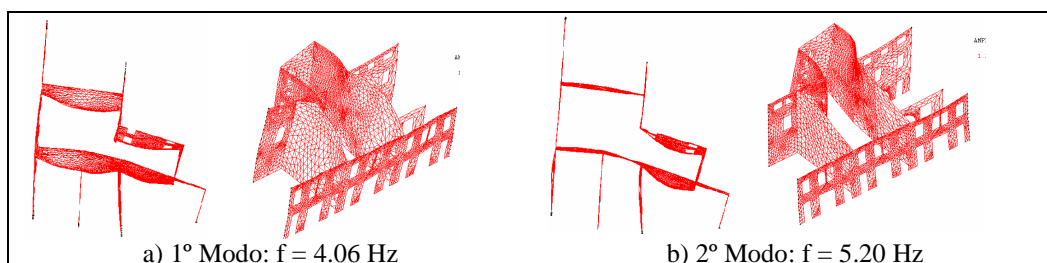


Fig. 19 – Casa nº 15. Análise Numérica – Resultados

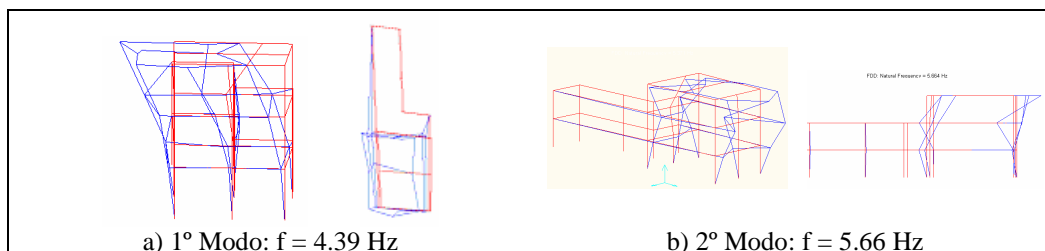


Fig. 20 – Casa nº 16. Análise Experimental – Resultados

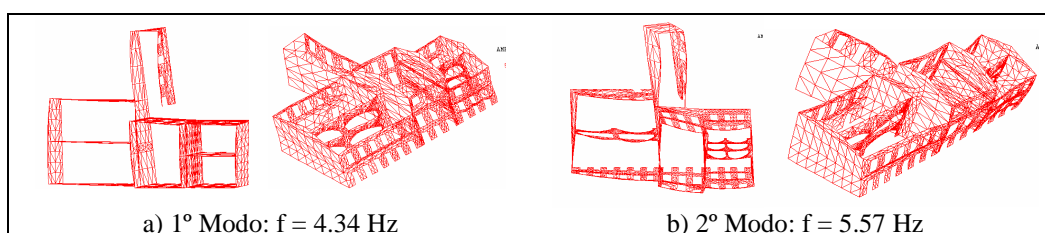


Fig. 21 – Casa nº 16 – Análise Numérica - Resultados

Quadro 3 – Casas nº 15 e 16. Propriedades da alvenaria de pedra

Paredes	Material	$\rho$ (ton/m <sup>3</sup> )	$E$ (GPa)
Casa 15	Alvenaria de pedra	1.8	0.65
Casa 16	Alvenaria de Pedra	1.8	0.8

De acordo com as frequências obtidas e, principalmente, com as respectivas configurações modais, foi possível verificar que o soalho apresenta um comportamento de diafragma com uma certa rigidez no seu plano e que restringe a flexão das paredes ao longo de um eixo vertical. Pode-se deste modo verificar que estes edifícios têm um comportamento que se enquadra entre as modelações B e C (abordadas na secção 2.1) no que se refere ao grau de rigidez dos pisos. O estado de manutenção do soalho, as suas ligações às vigas e às paredes em que apoiam, são assim factores relevantes e condicionantes para o comportamento dinâmico deste tipo de estruturas uma vez que podem desempenhar um papel muito importante de travamento das paredes resistentes.

#### 4 CONCLUSÕES

Foram apresentados alguns resultados de uma fase de um vasto trabalho de análise do comportamento sísmico de um quarteirão específico da Cidade da Horta, na qual se procura averiguar e caracterizar os factores mais condicionantes para uma adequada modelação que traduza a realidade material e estrutural observada *in situ*.

Os elementos estruturais que constituem o quarteirão apresentam características mecânicas com heterogeneidades significativas, quer devido à sua própria constituição (ao nível local) quer devido à dimensão da “estrutura global” (o quarteirão) em estudo, por abranger várias

construções que, embora do mesmo tipo, podem ter qualidades diferentes. Estas heterogeneidades só podem ser quantificáveis de modo realista através de ensaios, razão pela qual o presente estudo se apoiou numa campanha experimental de medições de vibração ambiental.

Apesar de algumas limitações ao nível da sensibilidade quando aplicadas em estruturas muito rígidas, as medições efectuadas forneceram resultados bastante satisfatórios para a calibração dos modelos numéricos que permitiram estimar valores realistas das características mecânicas dos materiais e aferir estratégias adequadas de modelação de alguns dos seus elementos (tais como os pavimentos de soalho, por exemplo). Estes resultados assumem grande importância na prossecução deste trabalho, porque destinam-se a ser usados de forma sistemática na modelação numérica de todos os edifícios do quarteirão a fim de obter uma avaliação fidedigna da sua resposta sísmica.

## 5 REFERÊNCIAS

- [1] CEA 1990, CASTEM 2000, *Guide d'utilisation*. CEA, France.
- [2] Costa, A. - *Determination of mechanical properties of traditional masonry walls in dwellings of Faial Island, Azores*. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2002.
- [3] Costa, C. - *Análise do Comportamento da ponte da Lagoncinha sob acção do Tráfego Rodoviário*. – Tese de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2002.
- [4] Caetano, E., - *Identificação experimental dos parâmetros dinâmicos em sistemas estruturais*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 1992.
- [5] SVS 2002 - *Structural Vibration Solutions Aps* – Artemis Extractor Light 3.1 – Aalborg East, Denmark – 2002.
- [6] Brincker, - *Introductory Seminar: ARTEMIS EXTRACTOR SOFTWARE*. Lisboa-2001.
- [7] Cunha, A.; Caetano, E.; Brincker, R. e Andersen, P. – *Identification from the Natural Response of Vasco da Gama Bridge*. XXII Int. Modal Analysis Conference (IMAC), Dearborn, USA, 2004.